

文章编号:1001-9081(2008)07-1721-03

## 基于投影自相关的运动降晰参数辨识

张采芳<sup>1</sup>, 田 岩<sup>2</sup>, 柳 健<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学 文华学院, 武汉 430074; 2. 华中科技大学 电子与信息工程学院, 武汉 430074)  
(wind\_cf@163.com)

**摘要:**为了对退化图像进行恢复,首先要得到退化图像的降晰参数。针对匀速运动降晰的情形,提出了一种基于投影的自相关法自动估计降晰参数。该方法首先将运动方向转化为水平方向,求退化图像在水平方向的微分,再对微分图像求垂直方向的微分,绘出两次微分图像投影的自相关曲线,自相关曲线中最大值与最小值之间的距离便是退化图像的降晰参数。

**关键词:**运动降晰; 图像恢复; 点扩展函数; 投影; 自相关曲线

**中图分类号:** TP751    **文献标志码:**A

### Motion blur scales identification based on autocorrelation of projection

ZHANG Cai-fang<sup>1</sup>, TIAN Yan<sup>2</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>

(1. Wenhua College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China;  
2. College of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** In order to restore the degraded image, the first step is to give the estimation of the blur scale. Blur scale identification based on the autocorrelation of projection was proposed aiming at the motion blurring. The movement direction was transformed into horizontal direction, firstly computing the horizontal derivative of blurred image, and secondly computing the vertical derivative of the horizontal derivative of blurred image. Then, the autocorrelation curve of the projection for the vertical derivative was drawn, and the degradation scales were equal to the distance of maximum and minimum values of the autocorrelation function.

**Key words:** motion blurring; image restoration; point spread function; projection of image; autocorrelation curve

### 0 引言

图像恢复一直是图像处理领域中的一个难点和热点问题,作为第二代图像恢复技术——图像超分辨率重建目前也得到了广泛的关注<sup>[1-4]</sup>。无论是传统的图像恢复方法还是超分辨率重建,都和图像的点扩展函数(Point Spread Function, PSF)密切相关。然而,对于实际获取的图像,在许多情形下,点扩展函数是未知的。对此问题,通常有两种解决方案,一是在已知退化模型先验知识的基础上,首先估计出退化系统的PSF,进而采取相应的恢复方法恢复出原始图像<sup>[5-6]</sup>;二是盲图像恢复,即在事先不能确定模糊系统的点扩展函数的情况下,将PSF的辨识和对真实图像的估计结合起来,同时辨识PSF和理想图像<sup>[7-8]</sup>。这种方法由于事先没有退化图像的先验知识,一般情况下,该方法的恢复结果较之于前一种的效果要差。

点扩展函数的估计,是一个非常重要但又比较困难的问题。对某些特殊的情形,已有一些研究工作,且取得了一定的成果,如文献[9]提出的基于模糊理论的运动参数鉴别法,文献[10]提出的通过刃边函数来估算运动模糊图像的PSF,实验发现,其估计精度都不够理想。文献[11]利用匀速直线运动模糊图像对应的频域上有周期性的零值条纹,且条纹方向与运动方向垂直这一特性,从模糊图像中估计出运动方向和退化参数,但研究发现其结果的普适性和精度都不能令人满意,尤其对噪声特别敏感。文献[12]提出了一种较为普适的

点扩展函数估计方法——误差—参数曲线法,该方法需要通过人工判读分析来得到点扩展函数的参数,这样就限制了其应用的推广。文献[13-14]提出的利用自相关来估计退化参数,但由于图像各像素点的相互影响,使得该方法的通用性得到一定程度的制约。本文针对移动退化,在文献[13]的基础上,提出了一种自动的点扩展函数估计方法,该方法与文献[13]的不同之处在于对微分图求自相关时,首先将其在坐标轴上投影,进而求投影向量的自相关,这样,就消除了由于图像上一些像素点的制约而影响退化参数的估计精度,实验结果表明本文算法能达到良好的估计精度,即使在噪声很大的情况下,也不会影响估计精度,因此该算法具有一定的理论和实际应用价值。

### 1 运动图像退化的点扩展函数

在许多情形下点扩展函数的类型可以由物理背景来确定和猜测,并且可以由参数来表征,如已知点扩展函数是线性移动、散焦和Gauss降晰。这样点扩展函数的辨识就可以转化为表征点扩展函数的参数的辨识。假设某一点扩展函数表示为 $h(\alpha)$ , $\alpha$ 为点扩展函数的参数。对于线性移动(以水平方向匀速移动为例),其点扩展函数可用式(1)表示:

$$h(m, n) = \begin{cases} \frac{1}{d}, & 0 \leq m \leq d \text{ 且 } n = 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $d$ 为点扩展函数的参数。将 $d$ 视作参变量, $h(m, n)$ 可改记作 $h(d)$ 。

收稿日期:2008-01-14;修回日期:2008-04-11。

作者简介:张采芳(1975-),女,陕西商州人,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、模式识别;田岩(1970-),男,山东微山人,副教授,博士,主要研究方向:图像处理、机器视觉;柳健(1939-),男,湖南长沙人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、模式识别、人工智能。

## 2 基于投影的自相关法估计移动参数

在实际图像中,由于每个像素点周围的背景几乎都不相同,所以每个像素点对自相关函数的形状的贡献也是不相同的。另外,匀速直线运动对于图像的所有像素点都有相同的影响,所以自相关函数的形状是所有像素点贡献的累积。当目标不是沿水平方向做直线运动时,我们可以通过坐标旋转变换,转化成为水平方向的运动,然后就可以按照水平方向运动模糊的情形进行处理。

在运动模糊图像当中,沿着运动方向,大多数模糊图像的背景的像素点有很强的相关性,即沿着运动模糊的轨迹,背景像素点的灰度值逐渐变化或者不变,这样沿着运动方向对退化图像进行求导运算后,沿着运动轨迹方向,该轨迹两端的导数值会出现相反的符号。其中黑色点表示该点处的导数值为负,白色点表示该处的导数值为正。如图 1 所示。图 1(a)是仅含有 3 个像素的一幅图像,图 1(b)是图 1(a)沿着水平方向运动 16 个像素造成的模糊图像,图 1(c)是图 1(b)沿着水平运动方向的导数图,计算图 1(c)沿垂直于运动方向的投影矩阵的自相关函数,可以得到它的自相关函数曲线,如图 1(d)所示,由图 1(d)可以看出,自相关曲线中最大值 16 与最小值 0 之间的距离恰好是运动模糊的距离。

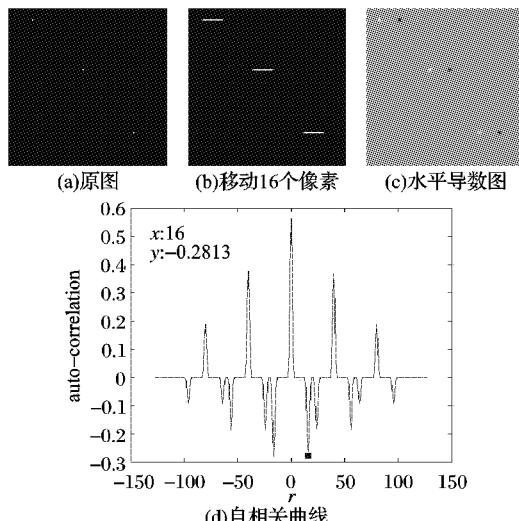


图 1 移动退化的参数解析

上面列举的只是一种理想情形,在实际拍摄的图像中,情况要比理想情形复杂得多,但是当背景图案不是非常复杂的图像时,沿着运动方向,在很短的曝光时间内,目标附近的背景像素点的灰度值一般不会发生很大的变化,这样就可以利用上面的方法。同时,在实际算法中采用了求两次导数,并且在求自相关时是对两次导数的投影向量进行运算,这样就减少了噪声及单个像素值的影响。

综合上面的描述,基于投影的自相关法估计移动退化参数的过程可描述如下:

- 1) 确定运动的方向,通过先验知识或者是其他的方法来确定。
- 2) 对于不是水平方向的运动通过旋转变换,转化成为水平方向的运动。
- 3) 沿着水平方向进行求导运算,这里采用算子

$$SZ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

进行导数运算,这种算子较之  $[1, -1]$  具有更强的抗噪性。

4) 对水平求导后的图像利用上述定义的  $SZ$  算子的转置进行垂直方向的求导。

5) 定义图像在坐标轴上的投影为:  $l(j) = \sum_{i=1}^M x(i, j)$ , 其中  $x(i, j)$  为图像在  $(i, j)$  处的灰度值,  $i, j$  分别为图像矩阵的横、纵坐标 ( $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ ),  $M, N$  分别为图像矩阵行和列的维数。对经过两次求导得到的导数图在垂直于运动方向进行投影,得到一个行向量的投影阵。

6) 按式(2)求出投影阵的自相关函数  $R(j)$ :

$$R(j) = \sum_{i=-M}^M l(i+j)l(i) \quad (2)$$

其中:  $j$  为整数且  $j \in [-M, M]$ ; 当  $i \notin [0, M]$ ,  $l(i) = 0$ 。式中采用计算投影自相关的方法,这样可以减少噪声干扰。模糊距离就是自相关函数  $R(\cdot)$  中的最小值和最大值  $R(0)$  (中心点) 之间的距离。

## 3 实验结果及其分析

为验证算法的普适性和有效性,这里通过几幅不同种类的图像来对该算法进行验证。数据如图 2(a)~(f) 所示,其中图 2(a)~(f) 分别由未退化的理想图像 Cameraman、Mandrill、Lena、Licence、Tree、Forest 通过设置不同的退化参数并添加不同程度的噪声得到(见表 1),前三幅为标准测试图,最后一幅为卫星遥感图像,其余两幅为实拍的图像。

表 1 退化参数及其估计结果

退化图	退化参数	噪声/dB	估计值	
			本文方法	文献[13]方法
Cameraman	10	48	10	96
Mandrill	3	31	3	3
Lena	24	37	24	66
Licence	12	34	12	7
Tree	6	41	6	6
Forest	13	40	13	251

利用本文方法绘制图 2 的自相关参数曲线如图 3 所示。

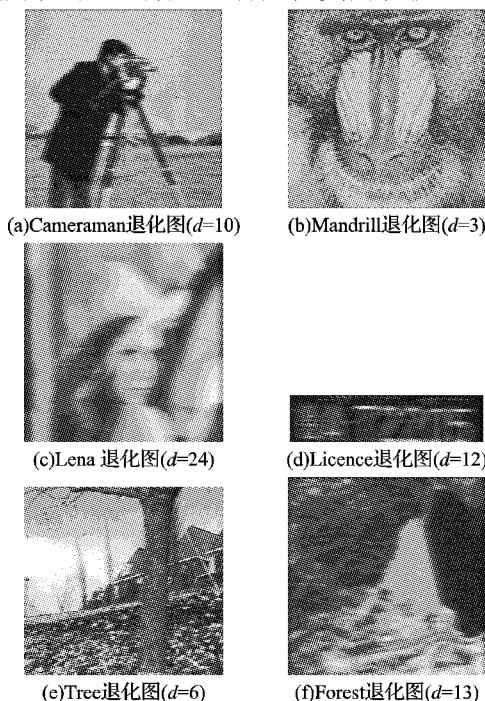


图 2 不同种类不同退化程度的测试图

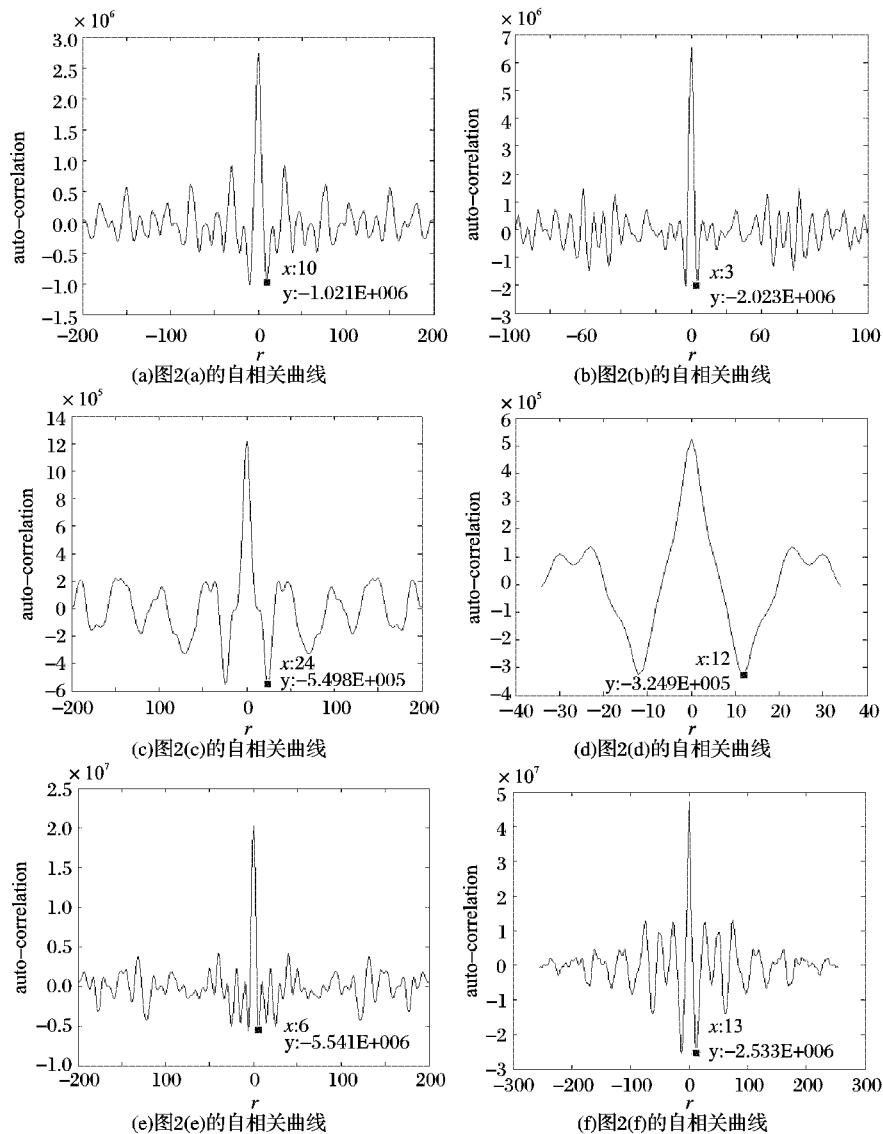


图 3 基于投影的自相关曲线

从图 3 可以看出, 四条曲线右侧最小值的横坐标分别为 10, 3, 24, 12, 6, 13(见图中标识), 这些值正好是图像退化的距离。改变噪声强度, 重复实验过程, 也能得到准确的估计结果。对图 2(a)采用文献[13]的方法来估计退化参数, 其自相关曲线如图 4 所示。

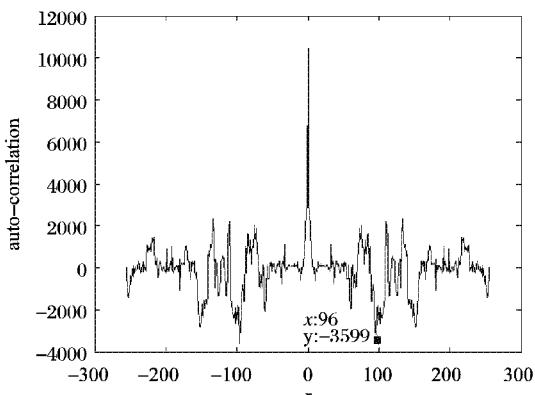


图 4 利用文献[13]的方法得到图 2(a)自相关曲线

从图 4 可以看出, 文献[13]得到的估计结果与实际退化参数的差异达到 86 pix, 这说明了该方法的鲁棒性较差。对其他三个数据重复这一过程, 其估计结果如表 1 所示, 由表 1

的结果可以看出, 文献[13]提供的方法抗噪性不强。

#### 4 结语

点扩展函数的自动估计一直是图像恢复领域的一个困难问题。尤其在先验知识不足的情况下估计点扩展函数(PSF)更具有挑战性。本文针对移动退化的情形, 提出了用微分投影的自相关曲线来估计图像的退化参数, 进而得出观测图像的点扩展函数。大量实验表明, 本文方法在估计退化参数方面效果明显, 且具有较强的抗噪性。

#### 参考文献:

- [1] CHAN R H, RIEMENSCHNEIDER S D, SHEN L X, et al. High-resolution image reconstruction with displacement errors: A framelet approach [J]. Imaging System Technology, 2004, 14(3): 91–104.
- [2] 田岩, 柳健, 田金文. 一种光学图像的快速超分辨率重建方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(3): 237–240.
- [3] ELAD M, YACOV H O. A fast super-resolution reconstruction algorithm for pure transnational motion and common space-invariant blur [J]. IEEE Transaction On Image Processing, 2001, 10(8): 1187–1193.

(下转第 1731 页)

式(21)~(25)是旋转 $\theta$ 角后边缘垂直于 $x$ 轴的旋转矩,要求得旋转前的原始矩,可以将边缘垂直于 $x$ 轴的图像逆时针旋转 $\theta$ 角,即顺时针旋转 $-\theta$ 角,将(21)~(25)所得等式以

$$l_{s\theta} =$$

$$\frac{\cos^2 \theta [ l_2 \sqrt{(1 - l_2^2)^3} + \alpha l_1 \sqrt{(1 - l_1^2)^3} - \alpha l_2 \sqrt{(1 - l_2^2)^3} ] + \sin^2 \theta [ -\frac{1}{3} l_2 \sqrt{(1 - l_2^2)^3} - \frac{1}{3} \alpha l_1 \sqrt{(1 - l_1^2)^3} + \frac{1}{3} \alpha l_2 \sqrt{(1 - l_2^2)^3} ]}{\cos \theta [ -\alpha \sqrt{(1 - l_2^2)^3} + \alpha \sqrt{(1 - l_1^2)^3} + \sqrt{(1 - l_2^2)^3} ]} \quad (26)$$

当式(26)中 $\theta = 0$ 时,得到三级边缘模型垂直于 $x$ 轴时的亚像素位置 $l_s$ 为:

$$l_s = \frac{(1 - \alpha) l_2 \sqrt{(1 - l_2^2)^3} + \alpha l_1 \sqrt{(1 - l_1^2)^3}}{(1 - \alpha) \sqrt{(1 - l_2^2)^3} + \alpha \sqrt{(1 - l_1^2)^3}} \quad (27)$$

### 3 误差校正函数

式(26)得到了边缘三级灰度模型下任意角度 $\theta$ 的图像亚像素边缘位置,它与理想边缘二级灰度模型下亚像素边缘位置的误差函数 $E(l, \theta)$ 定义为:

$$E(l, \theta) = l - l_s \quad (28)$$

该误差函数含有 $l$ 、 $\theta$ 、 $l_1$ 和 $l_2$ ,而由实际三级边缘模型可知, $l_1$ 和 $l_2$ 是最靠近 $l$ 的相邻两个像素的边界,在由理想二级边缘空间矩算子初步估算 $l$ 后,可以确定 $l_1$ 和 $l_2$ 的值。分析可知,当 $l = l_2$ 或 $l = l_1$ 时,原理误差等于0,这时边缘恰处在像素的边缘。在窗口的左右相邻像素范围内,原理误差是奇对称的。

实际三级灰度模型的边缘亚像素定位计算由式(10)、(26)得到,误差校正可通过误差函数(28)计算或通过建立误差校正表,通过查表和线性插值实现。

### 4 应用与结论

电工陶瓷基片是制造电容器等的基本材料,壁薄易碎,采用人工测量尺寸费时费力,测量精度难以保证,分类效果较差。为此,通过机器视觉获取基片图像,采用整像素边缘检测和空间矩亚像素细分算子得到基片尺寸边缘的亚像素位置<sup>[5]</sup>,实现基片尺寸的精确测量和基片的高精度分类。

图像测量系统采用BASLER A 113P面阵CCD摄像机,像素为1300(H)×1030(V),像元分辨率为6.7 μm(H)×6.7

及 $-\theta$ 角代入式(4)~(9)右边,就可求得角度为 $\theta$ 的图像边缘原始矩 $M_{00}$ 、 $M_{10}$ 和 $M_{20}$ ,然后将 $M_{00}$ 、 $M_{10}$ 和 $M_{20}$ 代入式(15)得到角度为 $\theta$ 的图像边缘亚像素位置 $l_s$ :

$$\mu\text{m}(V), \text{光源采用柯拉照明法。所测量的陶瓷基片公称尺寸为长 } 60 \text{ mm} \times \text{宽 } 50 \text{ mm} \times \text{厚 } 0.4 \text{ mm}。 \text{ 系统由吸盘式机械手上料, 绳带输送和气缸分类输出。}$$

基片图像经过中值滤波处理后,采用Prewitt和LOG算子进行整像素边缘快速定位,然后对初步定位的图像边缘用三级灰度边缘模型空间矩算子进行亚像素边缘定位,求出灰度图像的亚像素边缘距离像素的中心位置,从而得到基片的长、宽尺寸,再根据基片分档要求,完成分类输出。试验表明,采用该方法测量精度为0.005 mm,分类效率30片/min。该基片分类系统已在三环集团公司基片分类机中得到应用,分类精度和效率均优于进口同类产品。

图像边缘三级灰度模型更符合图像边缘实际情况,基于图像边缘三级灰度模型的空间矩亚像素细分算法所测量的图像边缘位置精度更高。三级灰度空间矩模型及像素算法在零件尺寸的高精度测量中具有较高的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 刘亚威,杨丹,张小洪.基于空间矩的亚像素边缘定位技术的研究[J].计算机应用,2003,2(2):47~49.
- [2] 杨敏,叶邦彦,牟丽,等.机械零件图像中直线边缘亚像素定位方法[J].华南理工大学学报,2003,12(12):30~33.
- [3] 王建明,浦昭邦,尹继学.空间矩亚像素细分算法的研究[J].光学技术,1999,7(4):3~6.
- [4] LYVERS E P, MITCHELL O R. Subpixel measurements using a moment-based edge operator[J]. IEEE Transaction On PAMI, 1989, 11(12):1293~1309.
- [5] 张永宏,胡德金,徐俊杰.基于视觉图像的机加工零部件亚像素边缘定位[J].机械工程学报,2004,6(6):179~182.
- [6] 刘扬阳,金伟其,苏秉华,等.超分辨率图像处理技术进展及其在遥感中的应用[J].红外与激光工程,2005,34(1):72~75.
- [7] 王晓红,赵荣椿.匀速直线运动模糊的PSF之估计[J].计算机应用,2001,21(9):40~41.
- [8] 张秉仁,陈里铭,高游.基于像素运动的图像模糊机理与恢复技术[J].计算机工程,2004,30(8):21~22.
- [9] 张婷婷,许刚.基于模糊集理论鉴别运动模糊参数[J].计算机工程与应用,2007,43(33):75~77.
- [10] 张云霞.运动模糊图像的复原与重建[D].大连:大连理工大学,2006.
- [11] CANNON M. Blind deconvolution of spatially invariant image blurs with phase[J]. IEEE Transactions Acoustics Speech Signal Processing, 1976, 24 (1): 58~63.
- [12] 邹谋炎.反卷积和信号复原[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [13] YITZHAKY Y, KOPEIKA N S. Identification of the blur parameters from motion blurred images[J]. Graphical Models and Image Processing, 1997, 59(5):310~320.
- [14] 邱慧,于起峰.基于自相关的匀速运动模糊尺度参数识别[J].国防科技大学学报,2006,28(5):123~125.